



**Kandidatarbeten
i Skogsvetenskap**
Fakulteten för skogsvetenskap

2020:25

Effekten av GROT-uttag i föryngrings- avverkning på träd tillväxten och markens produktionsförmåga över tid

Effects of slash harvest in final felling on stand and site productivity over time.

Christofer Roos och Axel Strömberg.

Kandidatarbete • (15 hp)
Sveriges lantbruksuniversitet, SLU
Fakulteten för skogsvetenskap
Umeå, 2020



Effekten av GROT-uttag i föryngringsavverkningar på träd tillväxten och markens produktionsförmåga över tid.

Effects of slash harvest in final felling on stand and site productivity over time.

Christofer Roos och Axel Strömberg

Handledare: Gustaf Egnell, Sveriges Lantbruksuniversitet, Skogens ekologi och skötsel

Examinator: Tommy Mörling, SLU, Institutionen för skogens ekologi och skötsel

Omfattning: 15 hp

Nivå och fördjupning: Grundnivå, G2E

Kurstitel: Självständigt kandidatarbete i skogsvetenskap

Kurskod: EX0911

Program/utbildning: Jägmästarutbildningen

Kursansvarig inst.: Skogens ekologi och skötsel

Utgivningsort: Umeå

Utgivningsår: 2020

Serietitel: Kandidatarbeten i Skogsvetenskap

Delnummer i serien: 2020:25

Omslagsbild: Forest biomass aka slash is a plentiful underutilized resource. Av Marcus Kauffman (CC BY 2.0)

Nyckelord: GROT, Tillväxt, Biobränsle, Förnybar energi, Granskog, långsiktig produktionsförmåga

Sveriges lantbruksuniversitet

Fakulteten för skogsvetenskap

Institutionen skogens ekologi och skötsel

Publicering och arkivering

Godkända självständiga arbeten (examensarbeten) vid SLU publiceras elektroniskt. Som student äger du upphovsrätten till ditt arbete och behöver godkänna publiceringen. Om du kryssar i **JA**, så kommer fulltexten (pdf-filen) och metadata bli synliga och sökbara på internet. Om du kryssar i **NEJ**, kommer endast metadata och sammanfattning bli synliga och sökbara. Fulltexten kommer dock i samband med att dokumentet laddas upp arkiveras digitalt.

Om ni är fler än en person som skrivit arbetet så gäller krysset för alla författare, ni behöver alltså vara överens. Mer information om publicering och arkivering går att hitta här: <https://www.slu.se/site/bibliotek/publicera-och-analysera/registrera-och-publicera/avtal-for-publicering/>.

☒ JA, jag/vi ger härmed min/vår tillåtelse till att föreliggande arbete publiceras enligt SLU:s avtal om överlåtelse av rätt att publicera verk.

☐ NEJ, jag/vi ger inte min/vår tillåtelse att publicera fulltexten av föreliggande arbete. Arbetet laddas dock upp för arkivering och metadata och sammanfattning blir synliga och sökbara.

SAMMANFATTNING

En av vår tids största samhällsutmaning är den pågående klimatkrisen. En lösning på krisen är att ställa om till ett mer biobaserat samhälle. Energiförbehovet ökar globalt och vår påverkan på klimatet måste minska. Ett sätt att minska klimatpåverkan är att använda biobränslen och andra förnybara energislag istället för fossila bränslen. Sverige har kommit en bra bit i sin energiomställning mot förnybara energi – inte minst tack vare god tillgång på biobränslen från våra skogar. Biobränslemarknaden har mer eller mindre tecknat in skogsindustrins restströmmar varför uttag nu också sker direkt i samband med avverkningen i skogen. Den största andelen här utgörs utav grenar och toppar, kallad GROT, som tidigare lämnades vid avverkning. GROT-uttag i förnygringsavverkningar medför måttlig ökning av biomassauttaget men en avsevärd ökning i näringsuttaget, vilket kan påverka tillväxten negativt i nästa skogsgeneration. Det har också visats i fältförsök, framförallt på svagare granmarker även om effekten har varierat mycket mellan de olika försöken. I denna studie undersöktes effekten av GROT-uttag på tillväxten i nästa skogsgeneration i ett fältförsök anlagt på lite svagare granmark med fokus på hur länge tillväxteffekten varar.

Studiens hypotes är (i) GROT-uttaget i förnygringsavverkning påverkar tillväxten i nästa skogsgeneration negativt, (ii) Om barren lämnas kvar kommer behandlingseffekten bli mindre och kortvarigare. (iii) Tillväxteffekten av GROT-uttaget är tillfällig och inte permanent.

Materialet till studien kommer från ett försök i Västerbotten. Försöket är ett randomiserat blockförsök med fyra upprepningar och har tre försöksled (1) kontrollen (K) där enbart stamveden skördats; (2) helträdsuttag (HTU) där hela biomassan ovan stubben skördats; (3) helträdsuttag där all biomassa ovan stubben utom barren skördats (HTUB). Den data som användes från försöket var korsklavad diameter från alla träd och höjd från provträd som slumpades ut för att få fram volymen för bestånden. Denna data togs fram för två tillfällen: 2007 och 2016, 30 år respektive 39 år efter att försöket anlades.

I studien används variansanalyser för att undersöka sambandet mellan tillväxten och GROT-uttaget. Först undersöktes sambandet mellan volym, behandlingarna och blocken. Den andra analysen var tillväxten mot behandlingen och blocken. Den tredje analysen var tillväxten mot behandlingen, blocken och med 2007 års volym som kovariat.

Resultaten som framkom i studien var att i första analysen kunde det konstateras att det fanns en signifikant skillnad ($\alpha=0,05$) mellan volymerna och behandlingen vilket styrkte studiens första hypotes (i) och den andra hypotesen (ii). Resultatet för den andra analysen var att det fanns en signifikant skillnad mellan tillväxten och behandlingarna och blocken och stöder hypotes (ii). I den sista analysen blev resultat att det inte längre fanns någon signifikant skillnad mellan behandlingarna eller blocken vilket stöder hypotes (iii). I korthet ledder helträdsuttag till minskad tillväxt, effekten tycks inte vara permanent utan endast leda till en tillfällig nedsättning utav tillväxten. Då ingen av studiens resultat talar mot hypoteserna kan slutsatsen dras att det finns god möjlighet att skörda GROT i framtiden. Denna studie undersöker endast en granplantering i Norrlands inland, den undersöker också endast en begränsad tid av skogsgeneration. Studien har inte heller omfattat trädens kvalitetsutveckling.

Nyckelord: GROT, Tillväxt, Biobränsle, Förnybar energi, Granskog, Västerbotten.

ABSTRACT

One of the greatest societal challenges of today is the ongoing climate crisis. A solution to this problem is the conversion of our society to a bio based one. As the need for energy is rising globally, our impact on the climate have to be reduced. One way towards achieving this is to change from fossil-based fuels to renewable ones. Sweden has come far in this aspect, in large thanks to the easy access to biofuel from the forest. The biofuel market is committed to the residual material from the forest industry, which is why today extraction of biofuel is done in connection with fellings within the forest. The greatest share of the extraction is made up out of branches and tops, so called slash, which previously had been left behind when the area where clear-felled. Slash harvest in final felling amounts to a moderate increase in biomass extraction but a considerable increase in nutrition extraction, which could affect the growth of the coming forest generation. The negative effect has been shown in field tests, especially on leaner spruce land, even though the effects have varied much in between the tests.

This study focuses on studying the effect of slash harvest on the oncoming forest generation in a field test on leaner spruce land with focus on how long the effects last. The hypothesis of the study is (i) that slash harvest in final felling do affect the growth in the next forest generation negatively. (ii) if the needles are left behind the negative effect will be smaller and shorter. (iii) the effect of slash harvest is temporary and not permanent.

The studies materials come from a field experiment in Västerbotten in northern Sweden. The experiment was established with a randomized block design with four replicates and three treatments (1) control (K) where only stem wood was harvested; (2) whole tree harvest (HTU) where all biomass above the stump was harvested; (3) whole tree harvest where all the biomass above the stump where harvested except the needles (HTUB). The data used from the field test was cross calipered diameter from all the trees and height from sample trees that were selected at random, to calculate the total volume. This data was collected at two times, both 2007 and 2016, 30 and 39 years after the establishment of the experiment. Data was analyzed with analysis of variance (ANOVA) to examine the relation between the growth and slash harvest. The first one was to examine the relation between volume and treatment as well as the block. The second analysis where growth versus treatment and block. The third analysis where growth versus treatment and block with the volume of 2007 as a covariate.

The results of this study show that in the first analysis there was a significant difference ($\alpha=0,05$) between the volume and the treatments and blocks, which confirms the studies first hypothesis (i) as well as the second hypothesis (ii). The results from the second analysis show that there was a significant difference between the growth and the treatment as wells as the blocks, which supports the studies second hypothesis (ii). In the final analysis the results show that there was no significant difference between the growth and the treatments or blocks which support the third hypothesis (iii). In short there was a negative effect on growth from whole tree harvest, this effect was shown to be temporary. This leads to the conclusion that slash harvest is a possibility in the future. This study only examined a spruce plantation in the north of Sweden, and only during a limited period in the stand's life cycle. Neither does the study cover the quality of the trees.

Keywords: Whole tree harvest, Growth, Biofuel, Renewable energy, Spruce, Västerbotten

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

Tabellförteckning	9
Figurförteckning.....	10
Förkortningar	11
1. Inledning.....	12
1.1. Klimatkrisen	12
1.2. Energibehovet i Sverige	12
1.3. Förnybar energi direkt från skogen	13
1.4. Vad vet vi om tillväxteffektens varaktighet?	13
1.5. Hypoteser	14
2. Material och metod	15
2.1. Försöket.....	15
2.2. Datainsamlingen	16
2.3. Analyserna.....	17
3. Resultat.....	18
3.1. Behandlingseffekt på stående volym.....	18
3.2. Behandlingseffekt på tillväxt.....	19
3.3. Behandlingseffekt på tillväxt med volymen vid periodstart som kovariat.	19
3.4. Resultat för medelvolymutvecklingen	20
4. Diskussion.....	21
4.1. Analysresultat	21
4.1.1. Behandlingseffekt på stående volym.....	21
4.1.2. Behandlingseffekt på tillväxt.....	21
4.1.3. Behandlingseffekt på tillväxt med volym vid periodstart som kovariat.	21
4.1.4. Medelvolymutveckling.....	22
4.2. Studiens hypoteser och studiens slutsatser	22
4.3. Jämförelse med tidigare studier	22
4.4. Implikationer	23
4.4.1. GROT-uttaget	23
4.4.2. Skillnader mellan försöksdesign och verkligheten.....	23
4.4.3. Koldioxidutsläpp.....	23
4.4.4. Den enskilde skogsägaren	23
4.4.5. Slutsatser	24

Referenser.....	25
Tack	27
Bilaga 1 statistikkort	28

Tabellförteckning

Tabell 1. Här visas försökets lokal- och grundförhållanden, vid försökets uppstart.....	16
Tabell 2 Tabellen visar resultat från variansanalysen med stående virkesförråd 2007 (30 år efter föryngringsavverkning) som beroende variabel och behandling och block som oberoende variabler. De tre behandlingarna svarar mot olika uttagsintensitet i föryngringsavverkningen med (i) kontrollparceller där enbart stamveden skördades (K), (ii) GROT-uttag där hela biomassan ovan stubben skördades (HTU) och (iii) som ii, men barren kvarlämnade på hygget (HTUB)..	18
Tabell 3 Tabellen visar resultat från variansanalysen med stående virkesförråd 2016 (39 år efter föryngringsavverkning) som beroende variabel och behandling och block som oberoende variabler. De tre behandlingarna svarar mot olika uttagsintensitet i föryngringsavverkningen med (i) kontrollparceller där enbart stamveden skördades (K), (ii) GROT-uttag där hela biomassan ovan stubben skördades (HTU) och (iii) som ii, men barren kvarlämnade på hygget (HTUB)..	18
Tabell 4 Tabellen visar resultat från variansanalysen med tillväxten mellan 2007 och 2016 som beroende variabel och behandling och block som oberoende variabler. De tre behandlingarna svarar mot olika uttagsintensitet i föryngringsavverkningen med (i) kontrollparceller där enbart stamveden skördades (K), (ii) GROT-uttag där hela biomassan ovan stubben skördades (HTU) och (iii) som ii, men barren kvarlämnade på hygget (HTUB).....	19
Tabell 5 Tabellen visar resultat från variansanalysen med tillväxten mellan 2007 och 2016 som beroende variabel med behandling och block som oberoende variabler samt volymen 2007 som kovariat. De tre behandlingarna svarar mot olika uttagsintensitet i föryngringsavverkningen med (i) kontrollparceller där enbart stamveden skördades (K), (ii) GROT-uttag där hela biomassan ovan stubben skördades (HTU) och (iii) som ii, men barren kvarlämnade på hygget (HTUB)..	19
Tabell 6 värden för medelvolymutvecklings som grafiskt representeras i figur 12 samt tillväxten. K: kontroll, HTU: helträdsutnyttjande, HTUB: helträdsutnyttjande utan barr.	20
Tabell 7 presenterar de resultat som studien har kommit fram till i tabellform.	22

Figurförteckning

Figur 1. Försökets läge i Sverige och upplägget för blockdesign. Där K är traditionell stamskörd. HTU är helträdsutnyttjande med all biomassa över marken, HTUB står för GROT-uttag med barren lämnade på plats.	15
Figur 2 medelvolymutvecklingen för de olika behandlingarna. K: kontroll, HTU: helträdsutnyttjande, HTUB: helträdsutnyttjande utan barr.	20

Förkortningar

SLU	Sveriges lantbruksuniversitet
GROT	Grenar och toppar
K	Kontrollen där bedrivs traditionellt stamskörds brukande
HTU	Helträdsutnyttjande, skörd av stam och GROT med barr
HTUB	Helträdsutnyttjande utan barr, skörd av stam och GROT men barren lämnas kvar.
ANOVA	Analysis of variance (variationsanalys)

1. INLEDNING

1.1. Klimatkrisen

En av vår tids största utmaning är den pågående klimatkrisen (Pachauri *et al.* 2015). En stor del av den krisen orsakas av ökade koldioxidutsläpp, där användningen av fossila bränslen utgör den största källan. Koldioxid är den viktigaste av flera växthusgaser, koldioxiden orsakar en ökning av medeltemperaturen på jorden. Oron för effekterna av stigande medeltemperatur på miljö och samhälle har fått världens ledare att inom ramen för FN:s Klimatkonvention underteckna avtal med målet att motverka klimatförändringen. Det sker i klimatavtalet som undertecknades i Paris 2015 i samband med COP 21 förbinder sig undertecknarna att begränsa ökningen av jordens medeltemperatur till 1,5°C med en absolut maximal ökning på 2°C jämfört med förindustrielltid (United Nations 2015). 1,5 graders målet är ett mycket ambitiöst mål som kräver åtgärder som drastiskt minskar utsläppen av koldioxid till atmosfären för att mot slutet av detta århundrande nå nollutsläpp eller ändå troligare negativa utsläpp (Masson-Delmotte *et al.* 2019). I arbetet att förhindra temperaturökningen försöker världen minska utsläppen av koldioxid – inte minst genom att fasa ut användningen av fossila bränslen till förmån för förnybara energislag såsom solkraft, vindkraft, vattenkraft och biobränslen. – Det har emellertid visat sig svårt då energibehovet i världen samtidigt ökar – inte minst i befolkningsrika utvecklingsländer.(International Energy Agency 2019).

1.2. Energibehovet i Sverige

Sverige har haft ett mer eller mindre konstant energibehov sedan mitten av sjuttio-talet (Kander & Lindmark 2004). Det konstanta energibehovet är en effekt av att energianvändningen har blivit effektivare. Fler maskiner används men de som används är energieffektivare (Bladh 2012). Det har också skett en stor förändring i svensk energiproduktion. Biobränsle och torv har ökat med över 200 procent sedan 1970-talet (Holmström 2019). År 2018 stod biobränslen för ca 25 procent av tillförd energi i Sverige där den totala energitillförseln var 552 TWh (Paulsson 2018). Initialt drevs energiomställningen i Sverige av försörjningstrygghetsargumentet som ett resultat av de två olika oljekriserna på 1970-talet. I och med oron för effekter av klimatförändringen har argumenten för förnybara energislag förskjutits mot klimatmålen och intresset för biobränslen har ökat än mer. Inom ramen för

Kyotoprotokollet åtog Sverige sig att nå 49% förnybar energi till år 2020, ett mål som nåddes redan år 2013. Idag finns inget specifikt mål för andelen förnybar energi i Sveriges nationella mål till 2030. Dock finns målet att till 2040 uppnå 100 procent förnybar energiproduktion (Miljödepartementet 2019). Enligt energimyndighetens prognos (Energimyndigheten 2019) kommer 65 procent av energianvändningen att komma från förnybara källor till 2030.

1.3. Förnybar energi direkt från skogen

En av de möjliga källorna till ytterligare förnybar energi är att utvinna biobränsle från skogen i direkt samband med avverkning. I dagsläget utförs det främst i form av GROT-uttag vid föryngringsavverkning. GROT utgörs av grenar och toppar som tas ut ur skogen vid avverkning och används som bränsle i framförallt kraftvärmeverk (Egnell 2013). GROT-uttag sker på ungefär 40 procent av föryngringsavverkningarna i Sverige. Det finns en stor efterfrågan i Mälardalsregionen och i södra Sverige, medan en stor del av potentialen finns i Norrlands inland (Rudberg 2014). Då GROT är ett lågt prissatt sortiment och landbaserade transporter är dyra begränsas uttaget i Norrlands inland.

Det kan verka som om att det är enbart fördelar med GROT-uttag men så är inte fallet. Fältförsök har visat på negativa effekter av GROT-uttag på skogens tillväxt (Egnell 2011, 2016; Fleming *et al.* 2014; Kaarakka *et al.* 2014) i nästkommande generation samt på näringstillgången i marken (Tamminen *et al.* 2012; Kaarakka *et al.* 2014). Då barren innehåller mycket näring (Liss 2001) är det idag vanligt att låta GROT ligga kvar en tillväxtperiod i skogen för att låta barren falla av och därmed blir kvar i skogen. Detta rekommenderas också av Skogsstyrelsen (Egnell 2013). Askåterföring är ytterligare ett sätt att återföra det extra uttaget av näring som sker vid GROT-uttag. Då återförs de flesta näringsämnena – men med ett viktigt undantag, nämligen kväve, vilket ur en tillväxtsynpunkt är det viktigaste näringsämnet i den boreala skogen (Mahendrappa *et al.* 1986). Även om negativa effekter påvisats i fältförsök finns det också försök där effekten uteblivit, till exempel försök i tallskog (Egnell 2017). Men utgångspunkten i denna studie är att effekter av GROT-uttag har påvisats i vissa försök och då kanske framförallt på svagare granmarker (Egnell 2017).

1.4. Vad vet vi om tillväxteffektens varaktighet?

Det finns en kunskapslucka när det gäller beständigheten för GROT-uttagets påverkan på tillväxten. Denna kunskap krävs för att kunna kvantifiera den totala tillväxtförlusten på marker där tillväxtförluster uppstår. Kunskapen om påverkan

av GROT-uttaget är permanent eller inte behöver studeras. För att kunna avgöra om uttag av biobränsle ur skogen är ett lönsamt och hållbart alternativ till fossila bränslen. Om tillväxtförlusterna är större än minskningen i utsläpp är GROT inte ett bra alternativ. Finns det även långvariga eller permanenta effekter behöver markägare och skogsbrukare ha kunskap om effekterna för att kunna ta rätt beslut om huruvida GROT ska skördas eller inte. Denna studie har använt sig av data från ett fältförsök på svagare granmarker som anlagts för att studera tillväxteffekten av GROT-uttag. I försöket ingår ett tredje försöksled där GROT:en avbarrats före skörd vilket gör att skogsstyrelsens rekommendation att lämna kvar så mycket som möjligt av de näringsrika barren kan värderas. Om den negativa effekten är permanent skulle viljan att göra uttag antagligen minska kraftigt.

1.5. Hypoteser

I studien testas följande hypoteser.

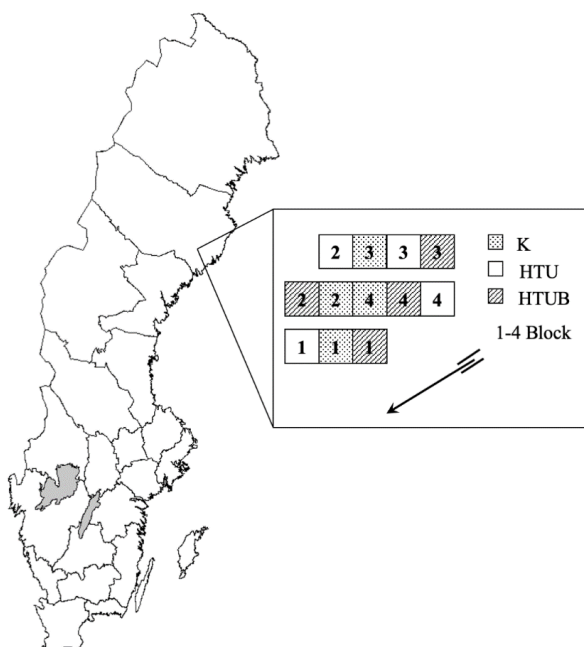
1. GROT-uttaget i föryngringsavverkning påverkar tillväxten i nästa skogsgeneration negativt.
2. Om barren lämnas kvar kommer behandlingseffekten bli mindre och kortvarigare.
3. Tillväxteffekten av GROT-uttaget är tillfällig och inte permanent.

2. MATERIAL OCH METOD

2.1. Försöket

Materialet som kommer att undersökas består av data insamlat från ett försök etablerat 1977 i Västerbotten av Göran Björkroth, se Figur 1. Mer specifikt används datamaterialet från ett granförsök med typiska norrländska förutsättningar, se Tabell 1. Försöken anlades som ett randomiserat blockförsök med tre olika behandlingar som upprepades i fyra olika block. Alla försöksytorna var 25 gånger 25 meter. Datamaterialet för studien kommer från åren 2007 och 2016.

1. Traditionellt skogsbruk där endast stammen skördades med en toppdiameter på 5 cm. (K)
2. GROT-uttag med skörd av all biomassa. (HTU)
3. Skörd av stamved och GROT medan barren lämnades kvar. Barren lämnades kvar genom att GROT:et fick ligga kvar en tillväxtperiod. Barren spreds sedan ut för hand efter att ha skakats av. (HTUB)



Figur 1. Försökets läge i Sverige och upplägget för blockdesign. Där K är traditionell stamskörd. HTU är helträdsutnyttjande med all biomassa över marken, HTUB står för GROT-uttag med barren lämnade på plats.

Tabell 1. Här visas försökets lokal- och grundförhållanden, vid försökets uppstart.

Lokalisering	64° 16' N 19° 31' E
Höjd över havet (m)	260
Nederbörd (mm/år)	565
Markvegetationstyp	Blåbärstyp
Markfuktighetsklass	Frisk/fuktig
Jordart	Järnpodsol
Ståndortsindex (H_{100})	20
pH (H_2O)	4,2
C: N kvot	46,5
Avverkade beståndet	
Trädslagsblandning	Gran & tall
Virkesförråd (m^3sk/ha)	290
Tid för avverkning	Våren 1976
Nya beståndet	
Markberedning	Manuell fläck
Trädslag	Gran
Tid för plantering	Våren 1977

2.2. Datainsamlingen

Det finns tre nivåer av information som samlas in till fältförsöket. Den första nivån är området där försöksytan ligger. Den får i det steget ett unikt ytnummer samt information om vart den befinner sig: kommun, socken, fastighet etcetera. Nivå två är parcellnivå där försöket delas upp i avdelningar där varje avdelning får en unik identitet. Identitetsinformationen som lagras är avdelningarnas areal, huvudträdslag, föryngringsmetod, beståndets födelseår med mera. Den tredje nivån är trädnivån, där träden mätes med intervaller på 9 år. Varje träd får ett unikt identitetsnummer. För varje träd dokumenteras trädslag och trädklass samt att diametern mäts med korsklavning. Provträd slumpas ut, på provträden utfördes ytterligare mätningar som trädhöjden, grön krongräns och dubbel barktjocklek i brösthöjd. Skogens tillstånd och tillväxtuppgifterna vid revisionerna sammanställs till statistikkort se bilaga 1. I sammanställningen görs en volymuppskattning av träden eftersom inte alla träd har mätts. Volymuppskattningarna bygger på att det finns ett nästan linjärt samband mellan brösthöjdsdiametern i kvadrat och dess stamvolym, sambandet är dock inte helt perfekt. Volymen redovisas enligt fyra kategorier, kvarvarande numrerade träd, utgallrade numrerade träd, kvarvarande onumrerade träd och utgallrade onumrerade träd. Torra träd särredovisas som delmängden av utgallrade numrerade träd (Karlsson *et al.* 2012). För att kunna

beräkna träd höjden då inte alla träd hade höjden mätts användes relationen mellan höjd och diameter enligt Näslunds modell ifrån 1936 (Karlsson *et al.* 2012).

Volymfunktionerna som användes vid volymberäkningarna visas här under, det användes två olika formler beroende på vilken brösthöjdsdiameter träden hade.

Volymfunktionen för granar med diameter över 4,5 cm (Brandels funktion 100-02).
$$V = 10^{-0,66277} d^{2,16277} (d+20)^{-0,81628} h^{2,92136} (h-1,3)^{-1,71059} k^{0,04501}$$
 (Karlsson *et al.* 2012)

För granar med diameter under 4,5 cm gäller (S-O Anderssons småträdsfunktion)
$$V = 0,22 + 0,1150d^2 + 0,01410d \cdot h + 0,01047dh^2$$
 (Karlsson *et al.* 2012)

Där V är volymen, d är diametern, h är höjden och k är grön krongränshöjd.

2.3. Analyserna

Det framtagna datamaterialet fördes in i statistikprogrammet Minitab18 (Ryan *et al.* 2017) där tre analyser genomfördes.

Den första analysen var en variansanalys. En generell linjär modell med stående trädförråd vid de två inmätningarna 2007 och 2016 som oberoende responsvariabel och faktorerna var blocken och behandlingarna. Därefter analyserades resultatet för att se om det fanns en signifikant skillnad ($\alpha=0,05$) mellan volymerna. Om det fanns en skillnad användes ett post hoc test *Tukeys*, för att finna vilka behandlingar som signifikant skiljde sig åt.

Den andra analysen var också en generell linjär modell där tillväxten (2007–2016) var den beroende variabeln, samt även användes som responsvariabel. Blocken och behandlingarna användes som faktorer. Här analyserades även resultatet. Om resultatet visade sig vara signifikant ($\alpha=0,05$) ska *Tukeys* post hoc test genomföras för att undersöka vilka behandlingar som var signifikanta.

Den tredje analysen som genomfördes var också en variansanalys med en generell linjär modell i vilken tillväxten (2007–2016) var både beroende och responsvariabel. Blocken och behandlingarna var faktorerna samt att volymen vid 2007 var kovariat i undersökningen. Även här undersöktes resultatet för att se om det fanns en signifikant ($\alpha=0,05$) skillnad. Om en skillnad upptäcktes användes *Tukeys* post hoc test för att konstatera var den signifikanta skillnaden kunde uppmätas.

3. RESULTAT

3.1. Behandlingseffekt på stående volym.

Variationsanalysen visade sig på en signifikant behandlingseffekt på stående volym fram till och med 2007 ($P < 0,001$ tabell 2). Post hoc testet visade att virkesförrådet var signifikant högre för K än för HTU ($P = 0,003$), vilket bekräftar hypotes 1 medan K inte skilde sig signifikant från HTUB ($P = 0,823$), vilket bekräftar hypotes 2. Virkesförrådet var som högst efter HTUB var följaktligen också signifikant högre än efter HTU ($P = 0,002$).

Tabell 2 Resultat från variansanalysen med stående virkesförråd 2007 (30 år efter förnygringsavverkning) som beroende variabel och behandling och block som oberoende variabler. De tre behandlingarna svarar mot olika uttagsintensitet i förnygringsavverkningen med (i) kontrollparceller där enbart stamveden skördades (K), (ii) GROT-uttag där hela biomassan ovan stubben skördades (HTU) och (iii) som ii, men barren kvarlämnade på hygget (HTUB).

Source	DF	SS	MS	F	P
behandling	2	705,88	352,94	25,96	0,001
block	3	936,10	312,03	22,96	0,001
Error	6	81,56	13,59		

Variationsanalysen visade på en signifikant behandlingseffekt på stående volym även fram till och med 2016 ($P = 0,005$ tabell 3). Post hoc testet visade att virkesförrådet hade en signifikant skillnad mellan K och HTU ($P = 0,013$) vilket även för volym två styrker hypotes 1. Det fanns inte en signifikant skillnad mellan K och HTUB ($P = 0,637$) vilket bekräftar hypotes 2. Det är fortfarande en signifikant skillnad mellan HTU och HTUB ($P = 0,005$).

Tabell 3. Resultat från variansanalysen med stående virkesförråd 2016 (39 år efter förnygringsavverkning) som beroende variabel och behandling och block som oberoende variabler. De tre behandlingarna svarar mot olika uttagsintensitet i förnygringsavverkningen med (i) kontrollparceller där enbart stamveden skördades (K), (ii) GROT-uttag där hela biomassan ovan stubben skördades (HTU) och (iii) som ii, men barren kvarlämnade på hygget (HTUB).

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
block	3	3257,7	1085,89	17,61	0,002
behandling	2	1862,5	931,24	15,11	0,005
Error	6	369,9	61,65		

3.2. Behandlingseffekt på tillväxt.

Variationsanalysen visar på en signifikant skillnad på behandlingseffekten på träd tillväxten ($P=0,043$ tabell 4). Post hoc testen visar att skillnad finns mellan HTUB och HTU ($P=0,043$), detta stödjer hypotes 2. Det fanns ingen signifikant skillnad mellan varken K och HTU (0,107) eller K och HTUB (0,761), dessa stödjer hypotes 3.

Tabell 4 Tabellen visar resultat från variansanalysen med tillväxten mellan 2007 och 2016 som beroende variabel och behandling och block som oberoende variabler. De tre behandlingarna svarar mot olika uttagsintensitet i förnygringsavverkningen med (i) kontrollparceller där enbart stamveden skördades (K), (ii) GROT-uttag där hela biomassan ovan stubben skördades (HTU) och (iii) som ii, men barren kvarlämnade på hygget (HTUB).

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
block	3	9,529	3,1764	9,17	0,012
behandling	2	3,862	1,9308	5,57	0,043
Error	6	2,078	0,3464		
Total	11	15,469			

3.3. Behandlingseffekt på tillväxt med volymen vid periodstart som kovariat.

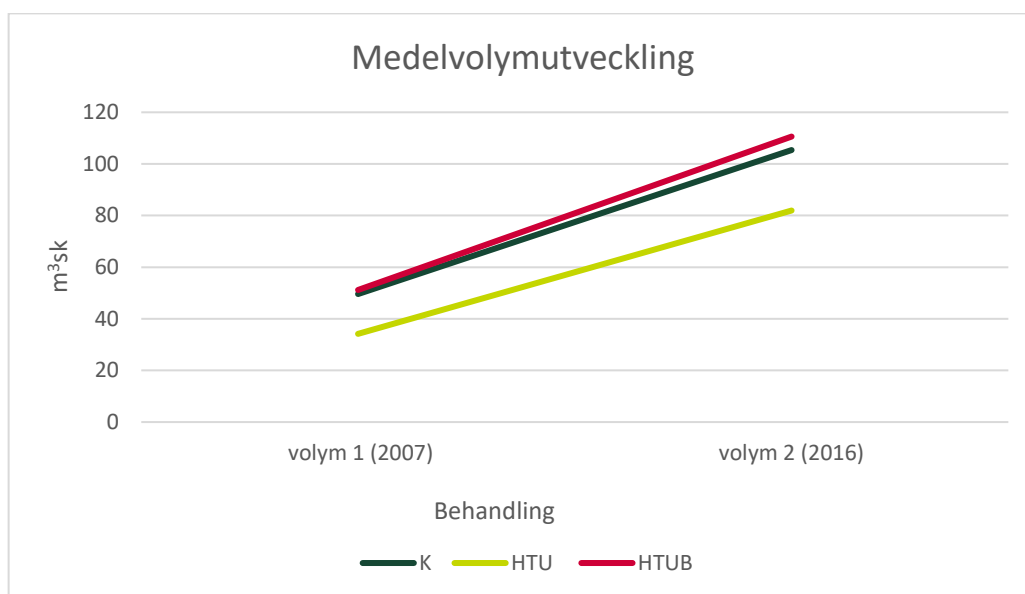
Variationsanalysen visar att det inte finns någon signifikant skillnad på träd tillväxten med startvolym som kovariat alls ($P>0,05$ tabell 5) vilket bekräftar studiens tredje hypotes.

Tabell 5 Tabellen visar resultat från variansanalysen med tillväxten mellan 2007 och 2016 som beroende variabel med behandling och block som oberoende variabler samt volymen 2007 som kovariat. De tre behandlingarna svarar mot olika uttagsintensitet i förnygringsavverkningen med (i) kontrollparceller där enbart stamveden skördades (K), (ii) GROT-uttag där hela biomassan ovan stubben skördades (HTU) och (iii) som ii, men barren kvarlämnade på hygget (HTUB).

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
volym 1	1	0,5580	0,55796	1,83	0,234
block	3	1,0258	0,34194	1,12	0,423
behandling	2	0,0751	0,03753	0,12	0,886

3.4. Resultat för medelvolymutvecklingen

Här presenteras medelvolymökningen som sker i försöket enligt figur 2 samt de faktiska värdena i tabell 6. Resultaten visar att HTUB har kommit ikapp och gått om kontrollen vilket bekräftar hypotes 3. Hypotes 2 kan också delvis bekräftas eftersom HTU inte ännu kommit ikapp kontrollen.



Figur 2 Medelvolymutvecklingen för de olika behandlingarna. K: kontroll, HTU: helträdsutnyttjande, HTUB: helträdsutnyttjande utan barr.

Tabell 6 värden för medelvolymutvecklings som grafiskt representeras i figur 12 samt tillväxten. K: kontroll, HTU: helträdsutnyttjande, HTUB: helträdsutnyttjande utan barr.

behandling	volym 1 (2007)	volym 2 (2016)	Medeltillväxten (m3sk/ha år)
K	49,6	105,375	6,197
HTU	34,175	81,95	5,308
HTUB	51,175	110,6	6,603

4. DISKUSSION

4.1. Analysresultat

4.1.1. Behandlingseffekt på stående volym.

Denna studie har funnit en signifikant skillnad mellan volymerna och behandling vid de olika revisionerna. Det finns tecken på att behandlingseffekten minskar mellan revisionerna då p-värdet blir större vilket stöder studiens tredje hypotes. Den slutsatsen stärks ytterligare av tidigare studier (Egnell 2011) där de studerat samma område, och skillnader inte längre kan återfinnas i denna studie. Delvis stärks även den första hypotesen, eftersom det betyder att det har funnits effekter som verkar återhämta sig.

4.1.2. Behandlingseffekt på tillväxt.

I denna analys hittas en signifikant skillnad mellan tillväxterna för HTU och HTUB vilket styrker hypotes 2. Dock bör påpekas att denna analys inte tar hänsyn till stående volym, vilket gör resultaten mindre användbara. Stående volym har en stor påverkan på tillväxt, eftersom tillväxten är beroende av den tidigare stående volymen. Detta fel tar följande analys hänsyn till. Återigen har blocken en effekt, detta är av samma anledning som nämnts ovan.

4.1.3. Behandlingseffekt på tillväxt med volym vid periodstart som kovariat.

När hänsyn tas till relationen mellan stående volym och tillväxt hittas ingen signifikant skillnad mellan någon av faktorerna. Det skulle kunna tolkas som stöd till hypotes 3 i studien, eftersom studien inte efter trettionio år ser någon skillnad mellan behandlingarna. Studien har visat att volymen påverkas av behandlingen men inte den nuvarande tillväxten. Den nuvarande volymen beror på den tidigare tillväxten, vilken tidigare studier har visat beror på behandlingen (Egnell 2011). Därför kan studien dra slutsatsen att tillväxten inte längre påverkas av behandlingen.

4.1.4. Medelvolymutveckling

Att HTU-linjen ser ut som den gör var väntat. Att HTUB har högre tillväxt än K var inte väntat. Vad detta beror på kan denna studie inte svara på. Vad vi vet från tidigare studie (Egnell 2011) är att HTUB tidigare vuxit sämre än K. Eftersom det i den här studien saknas underlag för att dra slutsatser i frågan, föreslås att det ska utföras vidare studier på detta.

4.2. Studiens hypoteser och studiens slutsatser

Alla studiens hypoteser kan styrkas vilket pekar på att GROT-uttag har en påverkan på tillväxten. Vilken analys som styrker vilka hypoteser kan ses i tabell 7. Om barr lämnas kvar i skogen blir påverkan mindre och kortare, samt att påverkan inte är permanent utan försvinner med tiden. Att hypoteserna styrks behöver inte betyda att resultaten kan tillämpas under alla förutsättningar. Studien har utförts på granmark i ett litet område i norra Sverige. Studien kan dock ge en grov uppfattning utav hur GROT-uttag skulle kunna komma att påverka skogen i framtiden, och ge en bild av dess konsekvenser vid samhällsomställningen.

Tabell 7 Resultat som studien har kommit fram till i tabellform.

	Hypotes 1	Hypotes 2	Hypotes 3
Analys 1	Styrker	Styrker	Styrker
Analys 2		Styrker	Styrker
Analys 3			Styrker

4.3. Jämförelse med tidigare studier

Studiens resultat styrker tidigare studiers resultat då dessa kommit fram till att GROT-uttag minskar tillväxten (Egnell 2011, 2016; Fleming *et al.* 2014 p. 201; Kaarakka *et al.* 2014), alternativt att det minskar mängden näring i marken (Tamminen *et al.* 2012; Kaarakka *et al.* 2014). Det bör påpekas att under litteratur sökandet kunde inga studier som undersökte om uttagseffekten var permanent eller inte hittas.

4.4. Implikationer

4.4.1. GROT-uttaget

Då behandlingseffekten inte verkar vara permanent är uttag ett valitt alternativ om möjligheten att sälja GROT finns inom en rimlig närhet, för att inte transportkostnaderna ska göra uttaget olönsamt. Dock bör påpekas att denna studie endast undersöker ett uttag, effekten av flera på varandra följande uttag är okänd. Då studien är utförd i norra Sverige på gran kan det se annorlunda ut i andra delar av landet eller med andra trädslag.

4.4.2. Skillnader mellan försöksdesign och verkligheten.

Försökets upplägg där man under kontrollerade former tar ut GROT vid olika tidpunkter och att det genomförs för hand är inte särskilt verklighetstroget. Då i studiens material så har de för hand spritt ut GROT:en över hela försöksytorna. Dessutom har man i studien försökt att minimera påverkan utav tunga maskiner genom att göra avverkningen på vintern med tjäle i marken. Allt detta gör så att resultatet inte kan appliceras rakt av på det praktiska GROT-uttaget. I den praktiska världen så är det för det första att om man inte gör ett GROT-uttag kommer ingen att sprida ut det än mindre sprida ut det för hand. Sen har vi den praktiska delen att för att underlätta skotningen utav virket så burkar skördaren lägga timmer i höga och därmed så läggs även GROT:et i högar vilket gör att det inte sprids lika jämnt som om det skulle spridas för hand.

4.4.3. Koldioxidutsläpp

Enligt studien verkar skogen återhämta sig från GROT-uttag och därmed skulle det bli en hållbar del i den kommande bioekonomin. Det studien inte kan dra några slutsatser om är hur effekterna av GROT-uttag i varje omloppstid påverkar flera på varandra efterföljande omloppstider. Därför kan studien inte med säkerhet säga hur GROT-uttag kommer påverka de kommande omloppstiderna. Det innebär att det behövs fler studier och mer kunskap inom ämnet, men det verkar lovande utifrån de resultat denna studie har visat.

4.4.4. Den enskilde skogsägaren

Den enskilde skogsägaren skulle kunna bli mer benägen att ta ut GROT när studiens resultat visar att det inte är en permanent effekt utan att det är en tillfällig effekt.

Det är även värt att notera att nästan alla skogsägare låter GROT:et ligga en tillväxtsäsong för att låta barren falla av innan GROT:et tas ut. Resultaten av denna studie visar att det finns väldigt liten skillnad kvar vid 38 års ålder. Det kan också vara värt att notera att spridning av barr i studien skedde minutiöst medan i verkligheten är processen mer rationell.

4.4.5. Slutsatser

Det som studien kan konstatera är att det verkar som tillväxtminskningen i granskog på svagare mark med GROT-uttag endast är tillfällig. Därmed skulle GROT-uttag vara ett hållbart sätt att ta ut energi ifrån skogen. Studien har dock begränsningar och mer forskning behövs på effekterna av flera GROT-uttag inom samma bestånd.

5. REFERENSER

- Bladh, M. (2012). Energy consumption and stocks of energy-converting artefacts. *Energy Policy*, vol. 43, ss. 381–386
- Egnell, G. (2011). Is the productivity decline in Norway spruce following whole-tree harvesting in the final felling in boreal Sweden permanent or temporary? *Forest Ecology and Management*, vol. 261 (1), ss. 148–153
- Egnell, G. (2013). *skogsskötsel serien 17 skogsbränsle*. (Skogsskötsleserien). Umeå: Skogstyrelsen. Tillgänglig: <https://www.skogstyrelsen.se/globalassets/mer-om-skog/skogsskotselserien/skogsskotsel-serien-17-skogsbransle.pdf> [2020-03-13]
- Egnell, G. (2016). Effects of slash and stump harvesting after final felling on stand and site productivity in Scots pine and Norway spruce. *Forest Ecology and Management*, vol. 371, ss. 42–49 (Stump harvesting – impact on climate and environment)
- Egnell, G. (2017). A review of Nordic trials studying effects of biomass harvest intensity on subsequent forest production. *Forest Ecology and Management*, vol. 383, ss. 27–36 (Sustainability of increased forest biomass harvest from a Swedish perspective)
- Energimyndigheten (2019). *Energimyndighetens webbutik*. (Scenarie över Sveriges energisystem, EM-2910) Tillgänglig: <https://energimyndigheten.a-w2m.se/Home.mvc?resourceId=133529> [2020-03-02]
- Fleming, R.L., Leblanc, J.-D., Hazlett, P.W., Weldon, T., Irwin, R. & Mossa, D.S. (2014). Effects of biomass harvest intensity and soil disturbance on jack pine stand productivity: 15-year results. *Canadian Journal of Forest Research*, vol. 44 (12), ss. 1566–1574 NRC Research Press.
- Holmström, C. (2019-02-18). *Energitillförsel. Ekonomifakta*. Tillgänglig: <https://www.ekonomifakta.se/fakta/energi/energibalans-i-sverige/energitillforsel/?graph=/1338/all/all/> [2020-03-02]
- International Energy Agency (2019). <https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/key-world-energy-statistics.html>. IEA. Tillgänglig: <https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/key-world-energy-statistics.html> [2020-03-13]
- Kaarakka, L., Tamminen, P., Saarsalmi, A., Kukkola, M., Helmisaari, H.-S. & Burton, A.J. (2014). Effects of repeated whole-tree harvesting on soil properties and tree growth in a Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) stand. *Forest Ecology and Management*, vol. 313, ss. 180–187
- Kander, A. & Lindmark, M. (2004). Energy consumption, pollutant emissions and growth in the long run: Sweden through 200 years. *European Review of Economic History*, vol. 8 (3), ss. 297–335 Oxford Academic.
- Karlsson, K., Mossberg, M. & Ulvcröna, T. (2012). *Fältdata system för skogliga fältförsök*. (5). Umeå: Enheten för skoglig fältforskning. [2020-04-17]
- Liss, J.-E. (2001). *Trädbränslen från skogen*. Garpenberg: Skogsindustriella institutionen. Tillgänglig: <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:522989/FULLTEXT01.pdf> [2020-04-02]
- Mahendrappa, M.K., Foster, N.W., Weetman, G.F. & Krause, H.H. (1986). Nutrient Cycling and Availability in Forest Soils. *Canadian Journal of Soil Science*, vol. 66 (4), ss. 547–572 NRC Research Press.

- Masson-Delmotte, V., Zhai, P., Pörtner, H.-O., Roberts, D., Skea, J., R. Shukla, P., Pirani, A., Moufouma-Okia, W., Péan, C., Pidcock, R., Connors, S., Matthews, J.B.R., Chen, Y., Zhou, X., I. Gomis, M., Lonnoy, E., Maycock, T., Tignor, M. & Waterfield, T. (2019). *Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty*. IPCC. Tillgänglig: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/06/SR15_Full_Report_High_Res.pdf [2020-04-16]
- Miljödepartementet (2019). *sveriges-utkast-pa-integrerad-nationell-energi--och-klimatplan-engelska.pdf*. Stockholm. Tillgänglig: <https://www.regeringen.se/48ee21/contentassets/da2216b50da745d68e233d30b6171c5a/sveriges-utkast-pa-integrerad-nationell-energi--och-klimatplan-engelska> [2020-03-02]
- Pachauri, R.K., Mayer, L. & Intergovernmental Panel on Climate Change (red.) (2015). *Climate change 2014: synthesis report*. Geneva, Switzerland: Intergovernmental Panel on Climate Change.
- Paulsson, J. (2018-02-28). *Årlig energibalans. Årliga energibalans*. [Myndighet]. Tillgänglig: <http://www.energimyndigheten.se/statistik/den-officiella-statistiken/statistikprodukter/arlig-energibalans/> [2020-03-02]
- Rudberg, J. (2014). *rapport biobranslen*. Tillgänglig: https://www.naturskyddsforeningen.se/sites/default/files/dokument-media/rapporter/rapport_biobranslen.pdf [2020-03-02]
- Ryan, B.F., A, T., Ryan, J. & Joiner, B.L. (2017). *Minitab 18*. Version: 18,1. Minitab. Tillgänglig: <https://www.minitab.com/en-us/> [2020-03-03]
- Tamminen, P., Saarsalmi, A., Smolander, A., Kukkola, M. & Helmisaari, H.-S. (2012). Effects of logging residue harvest in thinnings on amounts of soil carbon and nutrients in Scots pine and Norway spruce stands. *Forest Ecology and Management*, vol. 263, ss. 31–38
- United Nations (2015). *Paris agreement. english_paris_agreement.pdf*. Tillgänglig: http://unfccc.int/files/essential_background/convention/application/pdf/english_paris_agreement.pdf [2020-03-13]

Tack

Vi vill tacka alla personer som har hjälpt oss med detta arbete. Ett extra stort tack till vår handledare Gustaf Egnell som har gett oss möjligheten att skriva detta arbete och stöttat oss på distans i dess konstiga tider. Tack till Hilda Edlund som har hjälpt oss med snabba och bra svar gällande de statiska analyserna. Tack till Kerstin Roos och Johanna Strömberg som har frenetiskt hjälpt oss med rättstavningen. Tack även till medarbetarna på skogligplanering för att med glatt humör hjälpa oss med alla våra konstiga frågor angående Heureka, trots att Heureka-delen blev urtagen ur arbetet. Tack till Skogsbibliotekets personal med hjälp av källhanteringen.

Bilaga 1 statistikkort



Försöksyta 2444 Avdelning 11

STATISTIKKORT

Ägare eller förvaltning: Vindels försöksparker, 922 91 Vindeln

Fastighet: Lövliden

Socken: Vindeln

Höjd över havet: 265 m

Topografisk karta:

Latitud:

Longitud:

Huvudträdsdag: GRAN

Ståndortsindex: 23 (vid 42 år)

Beståndets födelseår: 1975

Uppkomstsätt: Plantering Behandlingar vid revision nr: 1 Uppskattning. 2 Uppskattning.

Björkroths försöksserie; Block 1, med ris

		Kvarvarande beståndet						Utgallrat virke						Total produktion		Årlig löpande tillväxt					
		Medel- höjd	Övre- höjd	Stam- antal	Grund- yta	Volym	Diam	Stam- antal	Grund- yta	Volym	% antal	% volym	Grund- yta	Volym	Diam	Grundyta m ²	%	Volym m ³	%		
		Datum 2007-11-06					Areal 0,04000														
Revision 1	Trädslag	Diam																			
	Älder 33																				
	ON	Tall	2,4	2,7	200	0,1	0,2	0,0	0	0,0	0,0	0	0	0,1	0,2						
		Gran	6,5	5,7	7,4	3425	11,2	36,5	0,0	0	0,0	0,0	0	0	11,2	36,5					
	ON	Gran	3,1	4,1		275	0,2	0,6	0,0	0	0,0	0,0	0	0	0,2	0,6					
(inkl on)	SA	Gran	6,3	5,6		3700	11,4	37,1	0,0	0	0,0	0,0	0	0	11,4	37,1					
	ON	Vårtbjörk	1,5	1,7		400	0,1	0,2	0,0	0	0,0	0,0	0	0	0,1	0,2					
	SA	Tot	5,9			4300	11,6	37,5	0,0	0	0,0	0,0	0	0	11,6	37,5					
Revision 2	Älder 42																				
			Datum 2016-11-16				Areal 0,04473														
	TORR	Gran	8,5	8,4	11,0	3040	17,3	77,5	0,0	0	0,0	0,0	0	0							
		Gran						2,3	22	0,0	0,0										
	SA	Gran	8,5	8,4		3040	17,3	77,5	2,3	22	0,0	0,0	1	0	17,3	77,5	2,2	0,67	4,9	4,6	8,7
	SA	Tot													17,3	77,5					

Utskriftsdatum 2020-03-04